



TITLE:

Two-way Coupled Multiscale Tsunami Modelling from Generation to Coastal Zone Hydrodynamics(Abstract_要旨)

AUTHOR(S):

William, James Pringle

CITATION:

William, James Pringle. Two-way Coupled Multiscale Tsunami Modelling from Generation to Coastal Zone Hydrodynamics. 京都大学, 2016, 博士(工学)

ISSUE DATE:

2016-03-23

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k19677>

RIGHT:

許諾条件により本文は2017-03-22に公開

京都大学	博士（工学）	氏名	William James PRINGLE
論文題目	Two-way Coupled Multiscale Tsunami Modelling from Generation to Coastal Zone Hydrodynamics (双方向結合マルチスケールモデルによる波源から沿岸域までの津波解析)		
(論文内容の要旨)			
<p>本論文は、はじめに、沿岸域における津波被害メカニズムを、波源を含む広域津波挙動と連動させて詳細に予測評価できる双方向結合マルチスケールモデルを新たに構築した。次に、同モデルを単純海岸地形の孤立波挙動に適用し、その妥当性および有用性を明らかにした。さらに、東日本大震災発生時の釜石湾における津波被害を対象とした解析を行い同モデルが現実の津波挙動予測・評価に適用可能であることを確認した。本論文は以下の6章から構成されている。</p> <p>第1章は序論であり、研究の背景と目的について記述されている。この中で、数値解析による津波挙動の予測精度向上は、工学分野における重要な研究課題の1つであることを示し、本研究の位置づけを明らかにしている。また、津波挙動には波源を含む広域の津波伝播挙動と構造物周りでの複雑な三次元流動が含まれ、その全体像を把握するためには、両者を同時に評価できる解析モデルが有効であるという本論文の方向性を示すとともに、その解析モデルが備えるべき要件を明らかにしている。</p> <p>第2章では、津波解析の理論を整理するとともに、文献調査結果を纏めている。この中では、津波解析手法の基礎方程式や解析方法に関するこれまでの研究の変遷を考察するとともに、本論文で構築する双方向結合マルチスケールモデルの位置づけを明らかにしている。</p> <p>第3章では、本論文で構築する双方向結合マルチスケールモデル（以下、2CLOWNS-3D(2-way coupled long wave to Navier-Stokes -3D)）の詳細について記述されている。まず、双方向結合モデルに関する既往研究について考察した後、本論文では、広域の解析に平面二次元非線形浅水方程式(NSWE)を、構造物周りの解析に三次元レイノルズ平均ナビエ・ストークス方程式(RANS)を用いることをその理由とともに示したのち、2CLOWNS-3Dの詳細について説明している。具体的には、1) 平面二次元非線形浅水方程式(NSWE)モデルの基礎方程式、差分法、津波氾濫解析法、境界条件設定法について詳細に記述し、次に、2) NSWE モデル解析をメッシュ間隔が異なる領域を双方向に結合して行うためのネスティング手法について、空間的な結合方法、時間的な結合方法についてそれぞれ記述している。さらに、3) 三次元レイノルズ平均ナビエ・ストークス方程式(RANS)モデルの基礎方程式、差分法、水面形状計算法、境界条件設定法について記述している。特に、水面形状計算法では、計算セル中の水面位置およびその法線方向を周囲の水面形状と整合しながら予測する方法を提案している。最後に、4) 双方向マルチスケール結合手法について詳細に記述している。この中では、NSWE モデルとRANS モデルのデータ交換法が提案され、特に、水平流速に鉛直分布を持たない NSWE モデルから水平流速の鉛直分布を表現できる RANS モデルにデータを送る際には、NSWE モデルの単一な水平流速値を、RANS 解析領域内の流速分布から推定した水平流速鉛直分布に変換してRANS モデルに入力する方法を提案している。また、NSWE モデルと RANS モデルの時間発展の違いを調整するための独自の工夫も行っている。</p>			

京都大学	博士（工学）	氏名	William James PRINGLE
<p>第4章では、構築した 2CLOWNS-3D の基本的な性能を検証した結果を示している。この検討では、単純な海岸形状に孤立波を入力した場合の水面変形を対象としている。まず、全体を NSWE モデルで解析した場合、遡上域付近での水面変形を適切に再現できないが、全体を RANS モデルで解析した場合には適切に再現できることが明らかにした。このことより、計算コストを抑えながら精度よく解析するためには、両モデルを適切に結合する必要があることが再認識された。次に、NSWE 解析と RANS 解析の結合位置をさまざまに変化させた解析を 2CLOWNS-3D を用いて行い、計算時間や解析精度を勘案した最適な結合位置を判定する基準を提案した。さらに、海底勾配をさまざまに変化させた解析を 2CLOWNS-3D を用いて行い、RANS モデルで全体を解析した結果と比較して、精度を保証できる勾配の範囲を明らかにし、津波解析で現れる勾配では十分な精度があることを確認している。最後に、最適な位置で結合した 2CLOWNS-3D 解析を行った結果、全体に RANS 解析を適用した場合に比べ、解析精度を維持したまま、解析時間を大幅に短縮できることを示している。</p> <p>第5章では、2CLOWNS-3D を東日本大震災における釜石湾での津波挙動に適用している。解析領域は東日本大震災を含むメッシュ刻み 1350m の大領域から釜石湾を含むメッシュ刻み 10m の小領域まで5つの領域をネスティング手法により双方向結合している。まず、NSWE モデルのみによる双方向結合解析により、東日本大震災における釜石湾での津波挙動解析を行い、東北地方太平洋沿岸に設置されている GPS 波高計の実測値を適切に再現することおよび釜石湾沿岸部の津波遡上高の現地調査結果を適切に再現できることを確認している。次に、三次元詳細解析領域を釜石湾口に位置する巨大防波堤開口部に設定し 2CLOWNS-3D を用いて解析を行っている。その結果、まず、津波遡上高について、NSWE モデルのみによる双方向結合解析結果と同様な結果が得られ、2CLOWNS-3D の安定性を確認している。また、開口部を通過する津波の水理挙動について比較したところ、NSWE 解析のみによる双方向結合解析に比べ、本モデルの解析結果は、高流速の範囲や流速最大値が大きく異なることを明らかにしている。特に、開口部の水没ケーソン近傍では、ケーソンに沿った鉛直方向の高速流が発生し、圧力分布が NSWE モデルでは表現できない非静水圧状態になっていることを確認している。また、巨大防波堤開口部の水没ケーソンに作用する剪断力に着目して解析結果を詳細に検討したところ、水没ケーソンを滑動させうる流体力が発生していることが分かり、実際の滑動被害と一致した結果が得られている。これらの考察により実用問題に対する本モデルの適用性を証明されたとしている。</p> <p>第6章は結論であり、第1章から第5章で得られた結果を総括的にとりまとめるとともに、残された研究課題について記述している。</p>			

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、沿岸域における津波被害メカニズムを、波源を含む広域津波挙動と連動させて詳細に予測評価できる双方向結合マルチスケールモデルを新たに構築し、モデルの有効性を確認している。この解析モデルは、沿岸域と広域に対し、それぞれ適した基礎方程式系およびメッシュサイズを用いて解析しそれらを連動させることで、解析精度を損ねずに津波挙動全体を予測・評価する。本研究の概要は以下の2点にまとめられる。

(1) 双方向結合マルチスケールモデル(以下、2CLOWNS-3D(2-way coupled long wave to Navier-Stokes -3D))の構築

構築された解析モデル 2CLOWNS-3D は、波源を含む大領域から沿岸域における津波被害メカニズムの詳細な検討を行う詳細解析領域までをネスティング手法を用いて双方向接続し、詳細解析領域以外の領域は非線形長波理論(NSWE)に基づく平面二次元解析を行って計算時間を節約しながら、詳細解析領域ではレイノルズ平均ナビア・ストークスモデル(RANS)に基づく非圧縮性流体乱流解析を行う。このモデルの特徴として、津波のような大規模流動現象を異なるスケールで必要な精度を保ちながら効率よく解析できること、異なる解析手法および解析領域間の物理量を双方向に交換することにより、長時間の津波挙動を適切に予測可能であることが挙げられる。

(2) 2CLOWNS-3D の検証および実用問題への適用性の検討

本解析モデルの有効性を確認するため、次のような検討を行っている。まず、2CLOWNS-3D を単純海岸地形に適用し、NSWE 解析から RANS 解析へ最適な位置で接続した解析の結果、全領域に RANS 解析を適用した場合に比べ、解析精度を維持したまま、解析時間を大幅に短縮できることを確認している。次に、2CLOWNS-3D を東日本大震災における釜石湾での津波挙動に適用した。詳細解析領域は釜石湾口に位置する巨大防波堤開口部とした。その結果、2CLOWNS-3D が釜石湾沿岸部の津波遡上高の現地調査結果を適切に再現できることを確認している。また、解析結果から、開口部に設置されている水没ケーソンを滑動させうる流体力が発生していることが分かり、実際の滑動被害と一致した。これらにより実用問題に対する 2CLOWNS-3D の適用性が証明されている。

以上のように、本研究では、沿岸域における詳細な津波被害メカニズムについて、波源を含む広域津波挙動と連動させて予測できる解析モデルを新たに提案し、その有効性の検証や数値実験による実用問題への適用性について検討していることから、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成28年1月28日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。